



Quality control and surveying the capability indices of the saffron production process

Fatemeh Sogandi^{1*}

Article type:

Research Article

Article history:

Submitted: 8 October 2023

Revised: 27 November 2023

Accepted: 23 January 2024

Available Online: 23 January 2024

How to cite this article:

Sogandi, F. (2024). Quality control and surveying the capability indices of the saffron production process. *Saffron Agronomy & Technology*, 11(4), 449-469.

DOI: 10.22048/JSAT.2024.419826.1510

Abstract

As the world's most expensive agricultural and medicinal product, saffron holds a special place among Iran's industrial and export goods. Customers constantly seek the best products in price, quality, and timely delivery. Thus, it is crucial and necessary to ensure quality control in the saffron production process satisfy customers and enhance profitability. To thrive in the competitive market, greater attention should be given to the critical quality characteristics of saffron, namely crocin, picrocrocin, and safranal. Moreover, statistical process control is essential for monitoring processes to identify the underlying causes of specific changes and deviations. Control charts and process capability indicators serve as necessary tools in statistical process control; this paper primarily emphasizes the utilization of the exponentially weighted moving average control chart, renowned for its efficacy in addressing minor deviations, to oversee and regulate the saffron production process within a dataset during its initial phase. The data sets pertain to the qualitative characteristics of saffron in Torbat Heydarieh, Zaveh, Roshtkhar, Bardeskan, and Kashmar. After examining the quality aspects of the saffron production process and its sustainability, emphasis is placed on the control chart as the most crucial statistical process control tool. Efficiency indicators of the saffron production process are then calculated and analyzed using standards 259-1 and 259-2. Through this analysis, efforts can be made to reduce process variability and consequently compare and enhance the quality of saffron produced in the investigated areas. The results showed that in premium cut string saffron, Torbat Heydarieh city has the best picrocrocin, Kashmar city saffron has the best safranal, and Rashtkhar city saffron has the best crocin. Also, the best picrocrocin and saffron type one string saffron belong to Torbat Heydarieh and the best safranal belongs to Bardeskan. Utilizing these indicators in the saffron production process as a measure to evaluate the processes' ability to meet customer demands and comply with relevant industry standards.

Keywords: Control charts, Capability analysis, Statistical process control.

1 -Assistant Professor., Department of Industrial Engineering, University of Torbat Heydrieh, Iran.

2- Saffron Institute, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.



Corresponding author: f.sogandi@torbath.ac.ir

مقاله پژوهشی

کنترل کیفیت و بررسی شاخص‌های توانایی فرآیند تولید زعفران

فاطمه سوگندی^{۱،*}

تاریخ دریافت: ۱۶ مهر ۱۴۰۲

تاریخ بازنگری: ۶ آذر ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۳ بهمن ۱۴۰۲

سوگندی، ف. ۱۴۰۲. کنترل کیفیت و بررسی شاخص‌های توانایی فرآیند تولید زعفران. زراعت و فناوری زعفران، ۱۱(۴)، ۴۶۹-۴۴۹.

چکیده

زعفران به عنوان گران‌ترین محصول کشاورزی و دارویی جهان، جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات صنعتی و صادراتی ایران دارد. مشتریان همواره به دنبال انتخاب بهترین محصولات از نظر قیمت، کیفیت و تحویل به موقع هستند. بنابراین کنترل کیفیت فرآیند تولیدی زعفران نیز به منظور جلب رضایت مشتری و سودآوری بیشتر اهمیت و ضرورت دارد. برای موفقیت در بازار رقابتی باید به مشخصات کیفی بحرانی زعفران (کروسین، پیکروکروسین و سافرانال)، توجه بیشتری داشت. از طرف دیگر، کنترل کیفیت آماری روشی برای پایش فرآیندها در جهت شناسایی علل اصلی تغییرات خاص و انحرافات با دلیل و انجام اقدامات اصلاحی است. در این خصوص، نمودارهای کنترل و شاخص‌های توانایی فرآیند دو ابزار کاربردی مهم برای کنترل کیفیت آماری محسوب می‌شوند. بنابراین، این مقاله ابتدا، با استفاده از نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی که برای انحرافات کوچک مؤثر است، فرآیند تولید زعفران در یک مجموعه داده در فاز یک کنترل و نظارت شد. مجموعه داده‌ها مربوط به مشخصه‌های کیفی زعفران شهرهای تربت حیدریه، زاوه، رشتخوار، بردسکن و کاشمر بودند. سپس به بررسی ابعاد کیفیتی فرآیند تولید زعفران و پایداری آن، با محوریت نمودار کنترل به عنوان مهم‌ترین ابزار کنترل کیفیت آماری، به محاسبه و تجزیه و تحلیل شاخص‌های کارایی فرآیند تولید زعفران با استفاده از استانداردهای ۱-۲۵۹ و ۲-۲۵۹ پرداخته شد تا با تحلیل آنها بتوان به کاهش تغییرپذیری فرآیند و در نتیجه به مقایسه و بهبود سطح کیفیت زعفران تولیدی مناطق مورد بررسی کمک کرد. نتایج نشان داد در زعفران رشته‌ای بریده ممتاز، شهر تربت حیدریه دارای بهترین پیکروکروسین، زعفران شهر کاشمر دارای بهترین سافرانال و زعفران شهر رشتخوار دارای بهترین کروسین بود. همچنین، بهترین پیکروکروسین و کروسین زعفران رشته‌ای نوع یک مربوط به شهر تربت حیدریه و بهترین سافرانال آن مربوط به شهر بردسکن بود. بکارگیری این شاخص‌ها در فرآیند تولید زعفران معیاری جهت ارزیابی میزان توانایی فرآیندها برای تأمین خواسته‌های مشتریان و رعایت الزامات استانداردهای مربوطه بود.

کلمات کلیدی: نمودار کنترل، کارایی فرآیند، کنترل فرآیند آماری.

۱- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

۲- پژوهشگر پژوهشکده زعفران تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

(*) نویسنده مسئول: f.sogandi@torbath.ac.ir

مقدمه

در بازار رقابتی امروزه، کیفیت محصولات و یا خدمات نقش تعیین‌کننده‌ای در کسب سهم بیشتر بازار دارد. از اینرو، اهمیت و ضرورت استفاده از دانش کنترل فرآیند آماری، بیش از پیش مشخص می‌شود. علم کنترل کیفیت آماری دارای سابقه‌ی طولانی می‌باشد. کنترل فرآیند آماری روشی برای پایش فرایندها جهت شناسایی علل خاص تغییرات یا انحرافات با دلیل است. شناسایی سریعتر علل ایجاد انحرافات در فرآیند تولید و انجام اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه باعث کاهش هزینه‌های کیفیت داخلی و خارجی محصول می‌شود. جلوگیری از تولید محصولات معیوب با به‌کارگیری ابزارهای آماری به منظور کنترل و نظارت بر فرآیند تولید، تحت عنوان کنترل فرآیند آماری تعریف می‌شود. نمودارهای کنترل و تجزیه و تحلیل کارایی یا توانایی فرآیند دو ابزار مهم از کنترل کیفیت آماری بوده که نقش مهمی را در ارتقای کیفیت فرایندها و محصولات ایفا می‌کنند. نمودارهای کنترل با استفاده از داده‌های نمونه‌گیری شده فرآیند را در دو دسته تحت کنترل و خارج از کنترل دسته‌بندی می‌کنند. نمودارهای کنترل در دو فاز ۱ و ۲ نظارت بر فرایندها را انجام می‌دهند در فاز یک، هدف رسیدن به پایداری فرآیند تولید زعفران برای تخمین پارامترهای توزیع فرآیند است که با استفاده از داده‌های قدیمی صورت می‌گیرد. بعد از پایان فاز ۱ و پایداری فرآیند، با استفاده از حدودکنترل و پارامترهای بدست آمده، پایش و نظارت فاز ۲ فرآیند آغاز می‌شود. هدف از پایش فاز ۲، کشف انحرافات و تغییرات غیرتصادفی و خاص فرآیند است که منجر به افت کیفیت محصول می‌شود. همچنین بعد از پایان فاز ۱ می‌توان با استفاده از شاخص‌های کارایی فرآیند، میزان کارایی فرآیند تولید زعفران را نسبت به حدود مشخصه فنی مشتری ارزیابی و اندازه‌گیری کرد. بنابراین، فنون آماری می‌توانند در مراحل مختلف تولید زعفران مفید واقع شوند.

هدف اجرای نمودارهای کنترل شناسایی انحرافات غیر عادی یا بادلایل در پارامترهای موقعیت و پراکندگی فرآیند می‌باشد. اگر چه اولین استفاده آن برای صنعت تولیدی بوده اما امروزه نمودارهای کنترل در یک تنوع وسیعی از کاربردها همانند مهندسی اتمی، مراقبت سلامت و بهداشت، آموزش، آزمایشگاه‌های تحلیلی و غیره اعمال شده‌اند. در طراحی و توسعه نمودارهای کنترل تحقیقات فراوانی تاکنون انجام شده است که به اختصار تنها به مقالات مروری لاروی و مونتگومری (Lowry & Montgomery, 1950) اشاره می‌شود. علی‌رغم کاربردی که نمودارهای کنترل در پایش و کنترل فرایندها دارند و تحقیقات زیادی که در حوزه صنعتی، خدماتی، بهداشت و درمان و حتی دامپروی وجود دارد که نمودارهای کنترل را بکارگرفته‌اند، اما در داخل کشور تاکنون تحقیقی در زمینه بکارگیری نمودارهای کنترل در کشاورزی صورت نگرفته است. اما در ادبیات خارج از کشور شاهد چند نمونه مقاله معتبر هستیم که از نمودارهای کنترل در حوزه کشاورزی بهره گرفته‌اند. به عنوان مثال، ولتارلی و همکاران (Voltarelli et al., 2015) از ۳ نمودار کنترل برای تلفات در برداشت مکانیکی نیشکر برای تعیین بهترین الگوی برداشت استفاده کردند. ارولو و اکوم (Arowolo & Ekum, 2020) از نمودار کنترل رگرسیون تعمیم یافته به جای نمودار کنترل معمولی برای پایش تولید محصولات کشاورزی استفاده کردند. زیرا، نمودار کنترل مرسوم فاکتور(هایی) را که بر تولید محصول تأثیر می‌گذارد در نظر نمی‌گرفت. اما نمودار کنترل رگرسیون تعمیم یافته عامل (متغیر مستقل) مؤثر بر تولید محصول (متغیر وابسته) را در نظر می‌گیرد. همچنین، اخیراً محامد (Mohammed, 2022) با استفاده از سری‌های زمانی فرآیند تولید محصولات کشاورزی را در یک مطالعه موردی مدلسازی کرد و از نمودار کنترل میانگین

متحرک موزون نمایی (EWMA) ^۱ برای پایش و کنترل آنها استفاده کرد.

در خصوص کنترل کیفیت فرآیند تولیدی زعفران تاکنون هیچ مطالعه ای صورت نگرفته است که اینجا برای اولین مورد بررسی قرار گرفت. اما در این زمینه می توان به مطالعات دیگری نیز اشاره کرد (Ordoudi & Tsimidou, 2022; Fallahi et al., 2021; Moratalla-López et al., 2021; Chaouqi et al., 2018). مثلاً، چهار روش مختلف آبیگری مورد ارزیابی قرار گرفتند، نتایج نشان داد که بیشترین قدرت رنگ دهی زمانی حاصل شد که زعفران در دماهای بالاتر و زمان های پایین تر تیمار شود. همچنین مقدار بیشتری سافرانال (عطر) و کروستین (رنگ) در دمای بالا به دست آمد و تفاوت معنی داری بین مقادیر پیروکروستین در دماهای مختلف در تمامی روش های خشک کردن وجود نداشت. در بین این روش ها، در خشک کردن با مایکروویو با قدرت ۱۰۰۰ وات و خشک کردن در دمای اتاق به ترتیب کمترین نتایج را به دست آوردند (Maghsoodi et al., 2012). همچنین، از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا با تشخیص آرایه دیودی برای آنالیز زعفران مراکشی به منظور بررسی تأثیر کم آبی و شرایط نگهداری بر اجزای ثانویه، کیفیت و پایداری آن استفاده شد و نتایج یافت شده، از استفاده از اجاق حمایت کرد بعبارتی کروستین ها در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد کم آبی به طور قابل توجهی افزایش یافت (Chaouqi et al., 2018). همچنین، تأثیر تراکم کاشت بر کیفیت گل بنه های زعفران ایرانی و اسپانیایی را بررسی شدند، نتایج آنها نشان داد که اثر تراکم های مختلف کاشت بر میزان کروستین، پیروکروستین و سافرانال معنی دار بود و بیشترین میزان کروستین پیروکروستین و سافرانال به دست آمده در بنه اسپانیایی بوده است. اما بیشترین تعداد گل، وزن تر گل و وزن خشک از بنه ایرانی به دست آمد (Nazarian & Sahabi, 2018) علاوه بر

آن، پژوهشگرانی دیگری روش هایی را برای تعیین دقیقتر کیفیت زعفران پیشنهاد دادند (Zalacain et al., 2005; García-Rodríguez et al., 2014; Kiani et al., 2018). اخیراً، محققینی مانند اقحوانی شجری و همکاران (Aghhavan) (Shajari et al., 2022) اثر مدیریت عناصر غذایی و آبیاری را بر کیفیت و عملکرد زعفران بررسی کردند.

اغلب، آنالیز کیفیت زعفران در آزمایشگاه ها و براساس استانداردهای داخلی کشورها و استانداردهای بین المللی انجام می شود تا زعفران با کیفیت به دست مصرف کننده برسد. اما برای بررسی کیفیت زعفران تولیدی از سطوح متفاوتی از دانش استفاده شود که کل فرآیند تولیدی زعفران را بررسی کند. در این خصوص، شاخص های کارایی فرآیند، میزان کارایی فرآیند تولید زعفران را نسبت به حدود مشخصه فنی ارزیابی و اندازه گیری می کند. اولین شاخص توانایی فرآیند، شاخص C_p برای فرآیندهای دارای یک مشخصه کیفی با توزیع نرمال استفاده می شود. یک فرآیند از کارایی مناسبی برخوردار است هرگاه شاخص توانایی فرآیند C_p مقداری بزرگتر و مساوی یک را اختیار کند. مقدار کوچکتر از یک برای شاخص توانایی فرآیند C_p نشان دهنده آن است که نسبت محصولات نامنطبق تولید شده توسط فرآیند بیش از ۰/۰۲۷ است. شاخص توانایی فرآیند C_p به محل تمرکز فرآیند توجهی ندارد و تنها میزان تغییرپذیری فرآیند را مورد بررسی قرار می دهد. در نتیجه در حالتی که میانگین فرآیند با مقدار هدف برابر نباشد، معیار C_p کارایی خود را از دست خواهد داد.

شاخص های توانایی فرآیند C_p و C_{pk} بر میزان دقت فرآیند تمرکز دارند. به عبارت دیگر در این شاخص ها هر چه میزان انحراف معیار کمتر باشد شاخص توانایی فرآیند مقدار بیشتری به خود می گیرد. علاوه بر این، شاخص های توانایی فرآیند C_p و

چند متغیره.

- سایر روش‌ها: شاخص‌های توانایی فرآیند چندمتغیره و خطای اندازه‌گیری به طور همزمان بررسی شد (Shishebori & Hamedani, 2010) از طرف دیگر، اسکاگیلارینی (Scagliarini, 2011) به بررسی آماری اربیی و میانگین مربعات خطای برآوردکننده شاخص‌های توانایی فرآیند C_p و C_{pk} در حضور خطای اندازه‌گیری پرداختند.

فنون مختلف آماری می‌توانند در تمام مراحل تولید زعفران مفید واقع شوند. از میان این ابزار، کمی نمودن تغییرپذیری فرآیند تولید زعفران، با استفاده از نمودارهای کنترل، سبب تسهیل و افزایش دقت نظارت بر فرآیند تولید زعفران می‌شود. از طرف دیل شاخص‌های کارایی فرآیند با توجه به نیازها و مشخصات فنی مندرج در استانداردهای مربوط به زعفران، به ارزیابی کارایی فرآیند کمک می‌کند. به طور کلی این شاخص عددی است که توان فرآیند را در تولید محصولات قابل قبول نشان می‌دهد و رفتار فرآیند را نسبت به حدود مشخصه فنی ارزیابی و اندازه‌گیری می‌کند. بنابراین، با مرور ادبیات موضوع و بررسی خلأ موجود در این حوزه از یک سو، و ضرورت کاربردی کنترل فرآیند تولید زعفران و ارزیابی توانایی فرآیند تولیدی برای رسیدن به الزامات مشتری بر مبنای استانداردهای بین‌المللی زعفران، از سوی دیگر می‌توان اهمیت مسأله را نشان داد. در این رابطه بخش بعدی مواد و روش‌های مورد نیاز برای نیل به اهداف مسأله تبیین می‌شود. در ادامه در بخش سوم نتایج تجزیه و تحلیل به تفصیل آورده شده است و در نهایت، بخش پایانی به نتیجه‌گیری مباحث عنوان شده و بیان زمینه‌های تحقیقاتی آتی موضوع می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، به بررسی کیفیت زعفران با تمرکز بر

C_{pk} بر مبنای بازده خروجی فرآیند^۱ بنا شده‌اند. زیرا هرچه این شاخص‌ها بزرگ‌تر باشند بیانگر توانایی بیشتر فرآیند در تولید محصولات منطبق می‌باشند. اما شاخص‌های توانایی فرآیند C_p و C_{pk} هزینه برآورده نشدن الزامات مشتری را در نظر نمی‌گیرند. تاگوچی^۲ از منظر زیان کسب شده در ارزش محصولات وقتی که مشخصه‌های کیفی از مقدار هدف دور می‌شوند، به مسأله توانایی فرآیند نگاه کرده است. شاخص توانایی فرآیند C_{pm} شاخص تاگوچی نیز نامیده می‌شود. برای دسته بندی کلی در مورد شاخص‌های توانایی فرآیند چند متغیره می‌توان مقاله ارائه شده توسط شهریار و عبدالله زاده (Shahriari & Abdollahzadeh, 2009) را به طور مبنا در نظر گرفت. البته با مرور دیگر مقاله‌ها در این حوزه نیز به وضوح می‌توان اعتبار دسته‌بندی ارائه شده را مورد تصدیق قرار داد. این دسته‌بندی عبارتست از:

- شاخص‌های توانایی فرآیند مبتنی بر محاسبه نسبت ناحیه تفرانس بر ناحیه فرآیند: که از جمله شاخص‌های توانایی فرآیند در این دسته می‌توان به شاخص‌های پیشنهادی شهریار و همکاران (Shahriari et al., 1995) اشاره نمود.
- شاخص‌های مبتنی بر مستقل سازی مشخصه‌های کیفی با استفاده از تکنیک تحلیل مولفه اصلی: که از جمله آن‌ها می‌توان به شاخص ارائه شده توسط مین و همکاران (Min et al., 2014) اشاره نمود.
- شاخص‌های مبتنی بر نسبت کالای نامنطبق: از جمله شاخص‌های توانایی این دسته می‌توان به شاخص ارائه شده توسط چن و همکاران (Chen et al., 2003) اشاره نمود.
- شاخص‌های مبتنی بر تعمیم شاخص‌های تک متغیره به

1- Process Yield
2- Taguchi

برداشت به موقع و همچنین کنترل بیماری‌ها و علف‌های هرز نیز از عوامل مهمی است که بر کیفیت زعفران تأثیر می‌گذارد (Aissa et al., 2023).

مطالعه فرآیند انتخاب شده

مطابق ادبیات کنترل فرآیند آماری، منظور از فرآیند تولید زعفران مجموعه عملیات از ابتدای کشت تا ارائه محصول خام یعنی زعفران پاک شده به بازار است. هر مرحله می‌تواند تحت تأثیر عواملی باشد که ممکن است نتیجه و خروجی فرآیند را تغییر دهد. به عنوان مثال، تنها در مرحله کشت، زعفران ممکن است به روش‌های مختلف خاک و مزرعه و گلخانه و سالن کشت شود، علاوه بر آنها، زمان کاشت و اقلیم و دمای مناسب زعفران، پیاز زعفران مرغوب، آماده‌سازی زمین و انواع کاشت می‌تواند در این مرحله از فرآیند تولید زعفران مشخصه‌های کیفی زعفران را تحت تأثیر قرار دهند. همچنین، روش خشک‌کردن بر روی خواص حسی زعفران بسیار مؤثر بوده و ارزش تجاری و کیفیت نهایی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به طور کلی، فرآیند تولید در نظر گرفته شده در تولید زعفران به شرح زیر می‌باشد:

- انتخاب و کاشت بنه: زعفران از بنه تکثیر می‌شود و انتخاب بنه‌های مرغوب برای عملکرد و کیفیت مطلوب بسیار مهم است. بنه‌ها در عمق ۲۰-۱۵ سانتی متری در خاک آهکی با زهکشی خوب با PH بین ۶ تا ۸ کاشته می‌شوند.
- شرایط محیطی: زعفران در شرایط محیطی خاص از جمله خاک با زهکشی خوب، سطوح PH مناسب و محدوده دمایی خاص رشد می‌کند. این گیاه چرخه گیاهی معکوس دارد و برگ‌ها در سپتامبر جوانه می‌زنند و در اکتبر گل می‌دهند.

مشخصه‌های کیفی سافرانال، کروسین، پیکروکروسین پرداخته شده و با توجه به نتیجه طی مراحل ذیل می‌توان با بررسی کنترل کیفیت و محاسبه شاخصهای توانایی فرآیند تولید زعفران، بهترین شهر را از میان شهرهای مورد مطالعه در فرآیند تولید زعفران مشخص کرد.

تشکیل تیم اجرایی

برای تهیه ساختار اجرایی و مدیریتی پروژه، یک تیم اجرایی شامل متخصصین تحلیل فرآیند، مهندسین صنایع غذایی، پژوهشگران آزمایشگاه، مهندسین کشاورزی و مهندسین صنایع تشکیل شد. کمبود این اعضا را می‌توان با مصاحبه با خبرگان و تحقیقات میدانی نیز جبران کرد.

انتخاب فرآیند

در این پژوهش فرآیند انتخابی، تولید زعفران به صورت کشت کپه‌ای زعفران در شهرهای مورد مطالعه قرار گرفت. فرآیند تولید زعفران مانند هر گیاه دیگری شامل کاشت، داشت و برداشت است که در این بین هر کدام از مراحل می‌توانند تأثیر معنی‌داری بر کیفیت محصول داشته باشند. محتوا و ترکیب متابولیت‌های ثانویه از جمله کروسین، پیکروکروسین و سافرانال نیز از عوامل مهمی هستند که بر کیفیت زعفران تأثیر می‌گذارند. علاوه بر آن، کیفیت زعفران تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله شرایط محیطی، ترکیب خاک، ارتفاع، دما، بارندگی و اعمال زراعی است. همچنین، ارتفاع سطح زیر کشت عامل دیگری است که بر کیفیت زعفران به ویژه کروسین تأثیر می‌گذارد. خاک حاصلخیز و آب و هوای مساعد نیز از عوامل مهمی است که مناطقی با زعفران مرغوب را متمایز می‌کند. اندازه و کیفیت بنه‌های مورد استفاده برای کاشت نیز از عوامل مهمی است که بر عملکرد و کیفیت زعفران تأثیر می‌گذارد. آب و خاک زعفران نباید شور باشد و PH آن حداقل ۷٫۵ باشد. در نهایت کاشت و

اندازه‌گیری بود.

تعیین ویژگی‌های کلیدی

ویژگی‌های کلیدی زعفران شامل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی است و مربوط به خود گیاه زعفران است و عوامل خارجی بر روند تولید اثری ندارند. چون شاخص‌های کارایی فرآیند، رابطه بین توانایی واقعی فرآیند تولیدی و استانداردهای کیفی مربوط به زعفران را مشخص می‌کند و پس از محاسبه شاخص‌های توانایی فرآیند، باید آنها با مقادیر مرجع مقایسه شوند. در این مسیر آشنایی با استانداردهای مربوط به زعفران برای استخراج مقادیر مرجع الزامی است. می‌توان به برخی از این استانداردها اشاره کرد.

استاندارد ملی ایران ۲-۲۵۹، زعفران-روش‌های آزمون

استاندارد ملی ایران ۱۱۹۷، روش تعیین خاکستر کل در ادویه و چاشنی

استاندارد ملی ایران ۱۲۵۳، اندازه‌گیری خاکستر نامحلول در اسید برای ادویه و چاشنی

استاندارد ملی ایران ۱۲۱۵۸، عصاره محلول در آب سرد

استاندارد ملی ایران ۵۶۸۹، میکرو بیولوژی زعفران-ویژگی‌ها

استاندارد ملی ایران ۳۶۵۹، روش نمونه برداری زعفران

بنابراین، بعد از نمونه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها مبتنی بر استانداردهای ۲-۲۵۹، ۱۱۹۷، ۱۲۵۳ و ۱۲۱۵۸ باید مقادیر حدود بالا و پایین مشخصه‌های فنی زعفران (USL و LSL) مشخص شوند. این حدود، به صورت بخشی از ارتباط بین مشتری و عرضه‌کننده مشخص شدند که این حدود از استانداردهای ملی و بین‌المللی زعفران استخراج شدند. بررسی اجزای اصلی تعیین‌کننده کیفیت زعفران (کروسین، پیکروکروسین و سافرانال) با استفاده از روش طیف نور سنجی فرابنفش- مرئی و استاندارد ISO/TS 36322 انجام شد.

• شیوه‌های کشت: آماده‌سازی مناسب زمین از جمله شخم و خاک ورزی برای ایجاد شرایط مناسب برای رشد زعفران ضروری است. بنه‌ها به صورت ردیفی یا بستر کاشته می‌شوند و بهترین زمان کاشت بین تیر و مرداد در نظر گرفته می‌شود.

• برداشت و خشک کردن: گل‌های زعفران با ظرافت برداشت می‌شوند و کلاله‌ها که نخ‌های ارزشمند زعفران هستند، با دقت از هم جدا می‌شوند. فرآیند خشک کردن بسیار مهم است، زیرا تأثیر قابل توجهی بر عطر، طعم و کیفیت کلی زعفران دارد.

اما با توجه به اینکه رابطه متابولیت‌های ثانویه زعفران و کیفیت آن برای ارزیابی کیفیت کلی زعفران بسیار مهم است (Bergomi et al., 2022) و در عمل به این فاکتورها برای تشخیص درجه کیفی زعفران پرداخته می‌شود، صرفاً استانداردهای مربوط به این مشخصه‌های کیفی در نظر گرفته شده است. در این خصوص، سه عامل سافرانال و کروسین و پیکروکروسین مهم‌ترین خصوصیات نشان‌دهنده کیفیت زعفران هستند و بو و رایحه خاص زعفران بخاطر سافرانال، طعم یگانه زعفران از پیکروکروسین و رنگ زرد زربینی که به غذا می‌دهد بخاطر کروسین است، طیف‌سنجی جرمی و کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا، از روش‌های حرفه‌ای شناسایی زعفران‌های تقلبی هستند. البته برای اندازه‌گیری این ترکیبات روش‌های مختلفی به کار گرفته شد. کنترل کیفیت زعفران شامل شناسایی و اندازه‌گیری این عوامل در زعفران بودند. شناسایی آنها بیشتر بر اساس روشهای رنگ سنجی و همچنین TLC HPLC و GC انجام گرفت. روش HPLC شناسایی ترکیبات مشابه کروسین در زعفران مثل پیکروکروسین (گلیکون کروسین) و مشتقات کروسین و سافرانال را امکان پذیر کرد. سافرانال نیز یک روغن فرار است که با روش اسپکتروفتومتری طبق استاندارد ایزو ۳۹۳۲ با طول موج ۳۳۰ نانومتر در محلول‌های آبی زعفران قابل

برداشت، جداسازی کلالة و خشک کردن در تمامی نمونه‌ها به طور یکسان و مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۳۶۵۹ انجام شد. همچنین ویژگی‌های میکروبیولوژی زعفران با استاندارد ملی ایران شماره ۵۶۸۹ مطابقت داشت.

"استاندارد زعفران-ویژگی‌ها" نخستین بار در سال ۱۳۴۵ تدوین شد. تعیین ویژگی‌های اصلی با استفاده از روش طیف نورسنجی فرابنفش مرئی صورت می‌گیرد و اساس آن، بر مبنای ثبت تغییرات چگالی نوری عصاره آبی زعفران در طول موج بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر در دمای محیط می‌باشد. همچنین، علاوه بر وسایل معمول آزمایشگاهی وسایل دیگری همچون اسپکتروفتومتر نیاز است. روش کار آزمون نیز به تفصیل در

استاندارد آمده است و در نهایت، نتایج حاصله از خواندن مستقیم میزان جذب در طول موج‌ها مطابق معادله ۱ می‌باشد:

$$A_{1cm}^{%1}(\lambda \max) = \frac{D \times 10000}{m \times (100 - w_{MV})} \quad (1)$$

که در آن D میزان جذب در هر طول موج و m جرم آزمون (برحسب گرم) و w_{MV} میزان رطوبت نمونه است. در نهایت براساس این استاندارد می‌توان مطابق جدول ۱، متناسب با هر درجه زعفران حدود استاندارد را برای تمام ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زعفران بدست آمد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زعفران رشته‌ای و زعفران رشته‌ای بریده (استاندارد زعفران-ویژگی‌ها)

Table 1- Physical and chemical characteristics of string saffron and cut string saffron (standard saffron-characteristics)

Table 1- Physical and chemical characteristics of string saffron and cut string saffron (standard saffron characteristics)						
روش آزمون Test method	درجه بندی Grading				رشته ای بریده Cut string ممتاز Excellent	ویژگی ها Characteristic
	رشته ای String					
	4	3	2	1		
استاندارد ملی ۲-۲۵۹ National Standard 2-259	70	70	70	80	85	1 پیکروکروسین براساس ماده خشک (۲۵۷ نانومتر) حداقل Picrocrocin based on dry matter (257 nm) min
استاندارد ملی ۲-۲۵۹ National Standard 2-259	20-50	20-50	20-50	20-50	20-50	2 سافرانال براساس ماده خشک (۳۳۰ نانومتر) حداقل Safranal based on dry matter (257 nm) min
استاندارد ملی ۲-۲۵۹ National Standard 2-259	140	150	18	200	220	3 کروسین براساس ماده خشک (۴۴۰ نانومتر) حداقل Crocine based on dry matter (257 nm) min

بنابراین، حدود مشخصه فنی مستخرج از این استاندارد برای مشخصه‌های بحرانی زعفران به این صورت بود که پیکروکروسین دارای حد مشخصه فنی پایین $LSL=80$ و سافرانال دارای حدود مشخصه فنی کیفی $USL=50$ و کروسین دارای حد مشخصه فنی پایین $LSL=20$ و $LSL=200$ بود.

طراحی نمودار کنترل

نمودارهای کنترل از مهم‌ترین ابزارهای کنترل کیفیت آماری

هستند که به تشخیص انحرافات تصادفی و انحرافات بادلیل در فرآیند تولید می‌پردازند در صورتی که نمودار کنترل هشدار دهد یعنی یک انحراف بادلیل و خاص و غیرعادی در فرآیند تولید زعفران رخ داده است که بایستی رفع و رجوع شود. یک نمودار کنترل باید شامل نمونه‌هایی باشد که تحت کنترل هستند و همچنین باید ویژگی‌های مناسب برای فرآیند تولید را داشته باشند. برای تهیه نمودارهای کنترلی، ابتدا نوع نمودار کنترل مشخص شده که در اینجا نمودار کنترل EWMA به خاطر عملکرد بالا در تشخیص تغییرات کوچک استفاده می‌شود.

ارائه می‌دهد که آیا فرآیند تولید زعفران قادر به تولید زعفران با کیفیت در بین حدود مشخصه فنی و یا انتظارات مشتریان می‌باشد و یا خیر و همچنین فرآیندهای فعلی در برآورده کردن این حدود مشخصه فنی و یا انتظارات مشتریان چقدر توانایی دارند. از شاخص‌های توانایی فرآیند به شدت در پروژه‌های شش سیگما و در فازهای تحلیل و بهبود استفاده می‌شود.

توجه به این نکته مهم است که اغلب تخمین‌های شاخص‌های قابلیت تنها در صورتی معتبر هستند که حجم نمونه مورد استفاده به اندازه کافی بزرگ باشد، که معمولاً حدود ۲۵ مقدار داده مستقل تصور می‌شود. همچنین، انحراف کم توزیع داده‌ها از توزیع نرمال تأثیر قابل توجهی بر نتایج نمودار ندارد. با این حال، انحراف شدید می‌تواند تعداد سیگنال‌های کاذب خارج از کنترل را افزایش دهد. بنابراین مرحله اول تحلیل، بررسی آزمون نرمال بودن داده‌ها و در صورت لزوم تبدیل آنهاست. تجزیه و تحلیل کارایی فرآیند به عنوان یک مطالعه مهندسی برای تخمین کارایی فرآیند تعریف می‌شود. یکی از شاخص‌های قابلیت فرآیند، شاخص C_p یا شاخص کارایی یا قابلیت بالقوه فرآیند می‌باشد (شکل ۱) شاخص C_p که به منظور تعیین بزرگی پراکندگی فرآیند در مقایسه با تلرانس تولید ارائه می‌شود، بصورت $C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$ تعریف می‌شود.

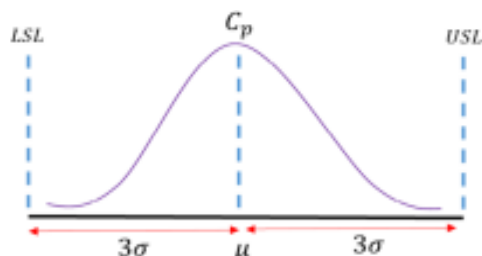
سپس، تعداد نمونه‌ها طبق استاندارد ملی ایران ۳۶۵۹ تعیین می‌شود. همچنین، ابزار اندازه‌گیری و روش اندازه‌گیری مطابق استاندارد ملی ایران ۲-۲۵۹ مشخص می‌شود. تجزیه و تحلیل نقاط کنترلی نمودار کنترل EWMA از اهمیت بالایی برخوردار است. در این نمودار با وزنی که به داده‌های گذشته داده می‌شود از اطلاعات گذشته برای پیش‌بینی میانگین فرآیند استفاده می‌شود. آماره این نمودار به صورت رابطه ۲ است.

$$Z_t = (1 - \lambda)Z_{t-1} + \lambda X_t \quad (2)$$

که در آن λ ثابت وزنی و Z_{t-1} مقدار آماره در لحظه $t-1$ ، X_t مقدار مشاهده در لحظه t است و هرچقدر مقدار λ بیشتر باشد وزنی که به داده‌های گذشته تعلق می‌گیرد کمتر است. اگر یک یا چند نقطه در داخل منطقه بین حد پایین و بالایی قرار داشته باشد، فرآیند تحت کنترل است. با این حال، اگر نقاط در نظر گرفته شده خارج از محدوده کنترل باشند، برای تثبیت فرآیند، باید نقاط خارج از حدود کنترل عیب‌یابی شده و ضمن ارائه پیشنهاداتی بهبود فرآیند، از نمونه‌ها حذف شوند. بهبود فرآیند تا زمانی ادامه دارد که تمام نقاط کنترل در محدوده کنترل قرار گیرند. اما نمودار کنترل اطلاعاتی در خصوص کارایی فرآیند نمی‌دهد. یکی از رایج‌ترین روش‌های تحلیل کارایی فرآیند، استفاده از شاخص‌های کارایی فرآیند است.

محاسبه و تحلیل شاخص توانایی فرآیند

شاخص کارایی یا توانایی فرآیند اطلاعات بسیار مهمی را



شکل ۱- نمایش شماتیک از شاخص کارایی فرآیند

Figure 1- A schematic figure for process capability index.

بنابراین، شاخص $p = \frac{1}{\hat{C}_p} \times 100$ نشان دهنده این موضوع است که فرآیند مورد نظر قادر است که p درصد از حدود مشخصه فنی را برآورد کند. اما شاخص C_p تنها پراکندگی فرآیند اندازه گیری می کند و میانگین فرآیند را در نظر نمی گیرد. بنابراین مطابق رابطه ۳ شاخص نسل دوم معرفی می شود.

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\} \quad (۳)$$

که در آن μ و σ میانگین و انحراف معیار به ترتیب مشخصه های کیفی مربوط به فرایند تولید زعفران هستند. ممکن است شاخص C_{pk} برای دو فرآیند یکسان باشد ولی دو فرآیند از لحاظ مرکزیت باهم تفاوت داشته باشند. بنابراین، مقدار بالای این شاخص لزوما چیز خاصی را بیان نمی کند. برای برطرف کردن مشکل فوق شاخص نسل سوم مطابق معادله ۴ ایجاد شد:

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6 \times |\mu - T|} \quad (۴)$$

در شاخص بعدی که در رابطه ۵ آمده است، فاصله بین میانگین فرآیند و مقدار هدف سنجیده می شود. در حقیقت، شاخص قبل نمی تواند شاخصی برای بررسی مرکزیت داده ها باشد.

$$C_{pkm} = \frac{C_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu - T}{\sigma}\right)^2}} \quad (۵)$$

که در آن مقدار هدف طبق استاندارد در ادامه به بررسی و محاسبه شاخص های دیگر توانایی فرآیند تولید زعفران تحت عناوین C_{PU} , C_{PL} , C_{pk} , C_{pm} , P_{pk} , P_{PU} , P_{PL} , P_p پرداخته شد. شاخص C_{pk} معیاری از قابلیت بالفعل فرآیند است و برابر با حداقل C_{PL} و C_{PU} است. شاخص C_{pk} نسبتی است که دو مقدار فاصله از میانگین فرآیند تا نزدیکترین حد مشخصات را مقایسه می کند. همچنین، شاخص C_{pm} نشان می دهد که سیستم تا چه

حد می تواند بر اساس مشخصات تولید کند. محاسبه آن مشابه C_p است، با این تفاوت که سیگما با استفاده از مقدار هدف به جای میانگین محاسبه می شود. هرچه C_{pm} بزرگتر باشد، احتمال بیشتری وجود دارد که فرآیند خروجی تولید کند که با مشخصات و مقدار هدف مطابقت داشته باشد. اما، بزرگترین تفاوت بین C_p و P_p در تعیین انحراف استاندارد است. برای P_p از نمونه گیری استفاده شده و انحراف معیار تخمینی نمونه براساس داده های تحت کنترل محاسبه میشوند اما در محاسبه C_p ، فرآیند تولید زعفران پایدار است و داده های کافی برای محاسبه یک انحراف استاندارد واقعی وجود دارد. P_{PU} قابلیت بر اساس USL ، شاخص P_{PL} توانایی مبتنی بر LSL و s انحراف استاندارد محاسبه شده از همه داده ها است. در حقیقت، شاخص P_{pk} حداقل P_{PL} و P_{PU} است. قبل از انجام تجزیه و تحلیل شاخص های توانایی فرآیند باید اطمینان حاصل شود که فرآیند تولید زعفران پایدار است. چراکه تجزیه و تحلیل شاخص های توانایی فرآیند تنها زمانی معتبر است که روی یک فرآیند پایدار انجام شود. یک فرآیند پایدار، فرآیندی است که فقط شامل انحرافات مشترک تصادفی باشد و هیچ نقطه خارج از کنترلی نداشته باشد. برای این منظور از نمودارهای کنترل انفرادی برای تشخیص انحرافات مشترک تصادفی و انحرافات بادلیل استفاده می شود. در ادامه برای تعیین اینکه کدام مشاهدات ممکن است نیاز به بررسی داشته باشد و برای شناسایی الگوهای خاص در داده های واقعی، از آزمایش هایی برای انحرافات بادلیل استفاده می شود. در ادامه به تجزیه و تحلیل مفصل نمودارهای کنترلی پیشنهادی پرداخته می شود. هم چنین در این مقاله، مفروضات زیر در نظر گرفته شده اند.

- فرآیند مورد بررسی دارای توزیع نرمال یا نزدیک به نرمال بود. بنابراین قبل از شروع تجزیه و تحلیل کارایی فرآیند، با استفاده از روش های مخصوص آماری نظیر آزمون

نتایج و بحث

در این بخش، زعفران شهرهای نام برده (تربت حیدریه، بردسکن، کاشمر، رشتخوار، زاوه) از نظر مشخصه‌های کیفی سافرانال و کروسین و پیکروکروسین مورد بررسی قرار گرفته و مقایسه شدند. ابتدا با استفاده از نرم افزار آماری مینی تب به بررسی شاخص‌های آمار توصیفی در جدول ۲ برای هر شهر فقط برای مشخصه کیفی کروسین به عنوان مثال، برای زعفران رشته‌ای بریده ممتاز و نوع یک پرداخته شد.

کولموگروف-اسمیرنوف و یا آزمون زبندگی برازش، فرض نرمال بودن داده‌های واقعی فرآیند تست شدند و در صورت مغایرت توزیع داده‌ها به نرمال تبدیل شدند. اگر داده‌ها بسیار چوله بودند، از تبدیل Box-Cox استفاده شد.

- اثر خطای اندازه‌گیری دستگاه‌های اندازه‌گیری قابل چشم‌پوشی بود.
- تیم اجرایی فرآیند تولید زعفران را بررسی کرده و قبل از نمونه برداری، برخی بهبودها برای تصحیح برخی انحرافات که لزوماً به ویژگی‌های مورد مطالعه مرتبط نبودند، اما برای فرآیند اساسی هستند، انجام شد.

جدول ۲- آمار توصیفی مربوط به مشخصه کیفی کروسین هر شهر

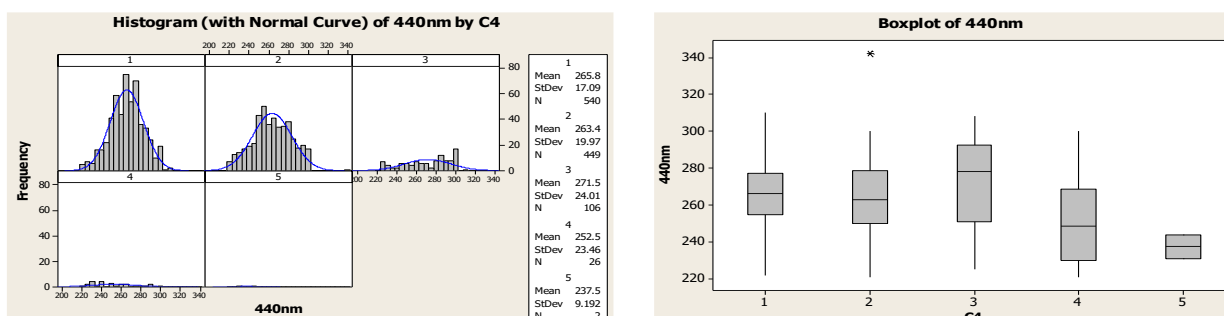
Table 2- Descriptive statistics related to the quality characteristic of crocin of each city

حداکثر	چارک ۳	میانه	چارک ۱	حداقل	انحراف معیار	خطای استاندارد	میانگین	اندازه نمونه	نام	
Max.	Q3	Median	Q1	Min.	Standard deviation	Standard error	mean	Sample size	Name	
310	277	266	255	222	17.09	0.735	256.78	540	تربت حیدریه	زعفران رشته‌ای بریده ممتاز Excellent cut string saffron
342	278.5	263	250	221	19.97	0.943	263.37	449	رشتخوار	
308	292.2	278	251	225	24.01	2.33	271.54	106	زاوه	
300	268.7	248.5	230	221	23.46	4.6	252.5	26	کاشمر	
244	*	237.5	*	231	9.19	6.5	237.5	2	بردسکن	
300	270	257	240	42	24.38	1.52	254.42	259	تربت حیدریه	زعفران رشته‌ای نوع یک Type 1 stringy saffron
300	262.2	248.5	233	201	21.57	1.04	248.58	434	رشتخوار	
307	289	266	243	202	28.1	3.38	264.57	69	زاوه	
295	251	237	226	203	18.22	1.19	238.69	233	کاشمر	
300	245	235.5	223.25	205	15.07	2.18	234.38	48	بردسکن	

آماري تحليلي قابل اعتمادی ارائه ندهد. علاوه بر آن، می‌توان هیستوگرام مشخصه‌ها را رسم و تحلیل کرد به عنوان مثال با فرض اینکه در گراف و شکل ۲ رسم شده عدد ۱- نشانگر شهر تربت حیدریه ۲- رشتخوار ۳- زاوه ۴- کاشمر ۵- بردسکن باشد، هیستوگرام رسم شده مرتبط با کروسین زعفران شهر تربت حیدریه به نرمال نزدیک‌تر بود. مطابق نمودار جعبه‌ای آن‌ها نیز

همانطور که مشاهده شد به طور کلی برای تمام شهرها، مطابق انتظار میانگین هر سه مشخصه کیفی در زعفران رشته‌ای بریده ممتاز بیشتر از زعفران رشته‌ای نوع ۱ بود. اما پراکندگی نمونه‌ها برای زعفران رشته‌ای بریده ممتاز کمتر از زعفران رشته‌ای نوع ۱ بود. همانطور که مشاهده شد در شهر بردسکن داده کمتری در دسترس بود که منجر شد در برخی از محاسبات

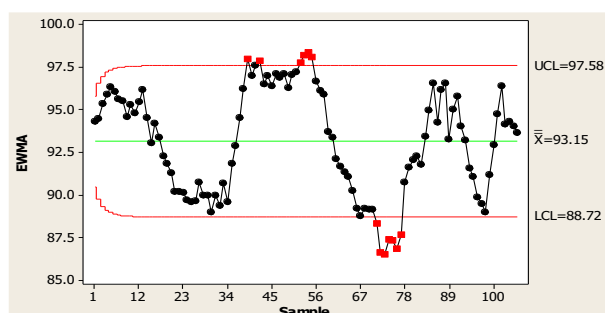
می‌توان گفت، شهر زاوه بیشترین میانه را دارا بود و برتری نسبی به سایر شهرها در خصوص مشخصه کیفی کروسین داشت.



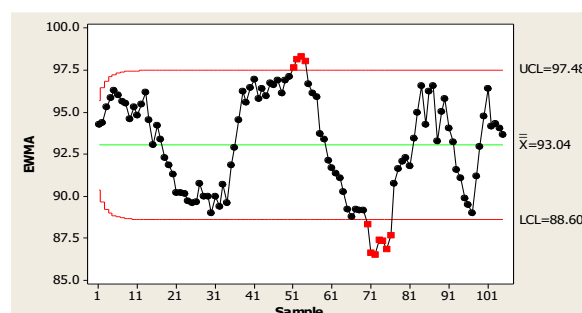
شکل ۲- نمودار جعبه‌ای و هیستوگرام مشخصه کیفی کروسین
Figure 2- Box chart and histogram of crocin quality characteristic.

شماره ۳۹ حذف و دوباره نمودار رسم شد (شکل ۴). در شکل ۴ نیز داده‌های ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۴، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵، ۷۶ خارج از حدود کنترل بودند و شکل ۵ با حذف نمونه ۵۱ رسم گردید. در شکل ۵ داده‌های ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵ خارج از حدود کنترل بودند. ادامه این روند بعد از طی ۶ مرحله دیگر که اینجا به جهت اختصار ذکر نشده است، منجر به شکل ۶ شد که در آن هیچ نقطه قرمزی وجود نداشت یعنی دارای حدود کنترل قطعی و بدون هیچ داده پرتی بود و در فرآیند به پایداری رسیده بود. بعد از آنکه فرآیند تحت کنترل بود می‌توانست میانگین و واریانس پیکروکروسین زعفران رشته‌ای ممتاز شهر زاوه برآورد کرد.

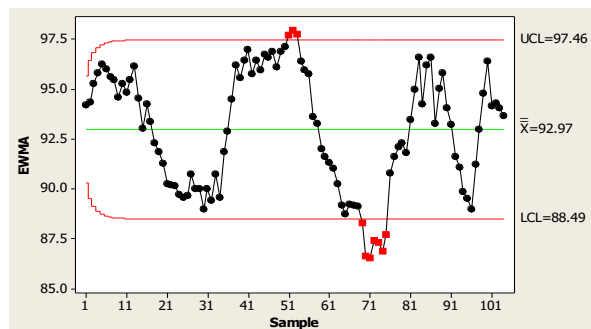
پس از درک اولیه از مشخصات آماری داده، به رسم نمودار کنترل EWMA پرداخته شد. در این نمودار کنترل، حدود کنترل محاسبه شد و داده‌ها ترسیم شدند. نقاط قرمز نشان دهنده داده‌های خارج از حدود کنترل بودند که در فاز پایش یک برای به کنترل در آوردن نقاط باید داده‌ها را یکی یکی حذف کرده و سپس نمودار را رسم کرده، این روند را تا زمانی ادامه داشت که تمامی نقاط داخل حدود کنترل بودند و فرآیند پایدار شد. در این خصوص، شکل ۳ مشخصه کیفی پیکروکروسین زعفران رشته‌ای ممتاز زاوه با حدود کنترل آزمایشی را نشان داد. همانطور که دیده شد داده‌های ۳۹، ۴۲، ۵۲، ۵۳، ۵۴، ۵۵، ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵، ۷۶ خارج از حدود کنترل بودند برای پایش اولیه، داده



شکل ۳- نمودار کنترل EWMA اولیه با حدود کنترل آزمایشی پیکروکروسین برای زعفران رشته‌ای بریده ممتاز در زاوه
Figure 3- Primary EWMA control chart with experimental control limits of picrocrocin for excellent cut string saffron in Zaveh.

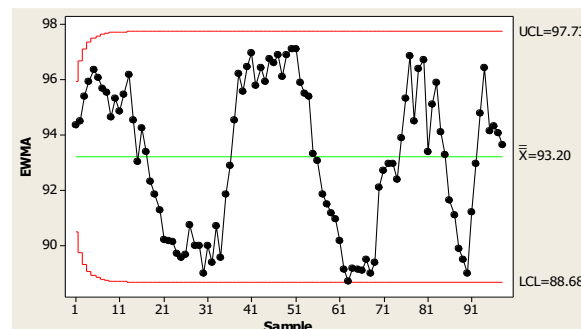


شکل ۴- نمودار کنترل EWMA با حذف داده ۳۹ در پایش فاز یک برای پیکروکروسین زعفران رشته‌ای بریده ممتاز در زاوه
Figure 4- EWMA control chart with 39 deletion in phase I for picrocrocin of excellent cut string saffron in Zaveh.



شکل ۵- نمودار کنترل EWMA با حذف داده ۵۱ در پایش فاز یک برای پیکروکروسین زعفران رشته‌ای بریده ممتاز در زاوه

Figure 5- EWMA control chart with 51 deletion in phase I for picrocrocin of excellent cut string saffron in Zaveh.



شکل ۶- نمودار کنترل EWMA با حدود قطعی پیکروکروسین زعفران رشته‌ای بریده ممتاز در زاوه

Figure 6- EWMA control chart with definite limits of picrocrocin of excellent cut string saffron in Zaveh.

رشته‌ای بریده ممتاز شهر کاشمر دارای توزیع نرمال بودند. توزیع مشخصه‌های کیفی شهر بردسکن به علت کمبود داده قابل تشخیص نبودند.

سافرانال و کروسین زعفران رشته‌ای نوع یکبردسکن و کروسین زعفران رشته‌ای نوع یک رشتخوار، نیز دارای توزیع نرمال بودند. اما توزیع مشخصه‌های کیفی سایر شهرها، غیر نرمال بودند که با استفاده از یک روش می‌توان به توزیع نزدیک آن‌ها پی برد. این کار در نرم افزار با استفاده از تشخیص توزیع^۴ مبتنی بر آزمون‌های برازش داده‌ها انجام شد و نتایج این تحلیل در جدول ۳ آمد.

پس از طی مراحل بالا و رسیدن به داده‌های متناسب و داخل حدود و مشخص شدن توزیع مشخصه‌های کیفی، برای مقایسه کیفیت فرایند تولیدی زعفران، محاسبه شاخص توانایی فرایند انجام شد تا براساس این شاخص‌ها، توانایی فرآیند تولید زعفران محاسبه شده، فرآیند و مناطقی که بایستی بهبود در آن صورت گیرد، تعیین شود. در ادامه در شکل‌های ۷-۱۱ به عنوان نمونه، شاخص‌های توانایی فرآیند برای مشخصه‌های کیفی در زعفران رشته‌ای بریده محاسبه و در چند شهر مختلف مقایسه شدند.

به طور مشابه می‌توان نمودارهای پایش شده مشخصه‌های کیفی سافرانال و کروسین زعفران رشته‌ای بریده ممتاز شهر زاوه را به صورت شکل‌های ۷ و ۸ نشان داد. در ادامه، نیز به جهت اختصار و به طور مشابه می‌توان نمودار کنترل EWMA با حدود قطعی برای سایر شهرها و انواع زعفران بریده ممتاز و رشته‌ای نوع یک و همچنین مشخصه‌های کیفی کروسین، پیکروکروسین و سافرانال زعفران نیز رسم کرد.

پس از رسیدن به پایداری فرآیند، می‌توان شاخص‌های توانایی فرآیند را محاسبه کرد اما ابتدا باید تست شود که آیا داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. دقت شود چون نمودار کنترل EWMA نسبت به نرمال بودن داده‌ها مقاوم است پس پیش از این تست نرمال بودن انجام نشد. برای آزمون نرمال بودن در نرم افزار minitab از سه روش معروف اندرسون دارلینگ^۱، رایان جویئر^۲ و کولموگروواسمیرنو^۳ استفاده شد. اگر حداقل با یکی از این روش‌ها غیر نرمال بودن مشخص شد پس داده‌ها غیر نرمال بودند و نیازی به چک کردن بقیه روش‌ها نبود. به طور کلی، با استفاده از این روش‌ها مشخص شد مشخصه‌های کیفی پیکروکروسین، سافرانال، کروسین زعفران

1- Anderson-Darling

2- Ryan-Joiner

3- Kolmogorov-Smirnov

4- Distribution Identification

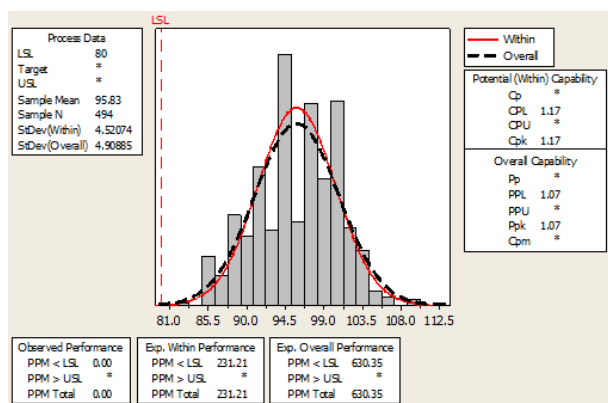
جدول ۳- نتایج برازش بهترین توزیع به داده‌های غیرنرمال

Table 3- The results of the best fitting to non-normal data

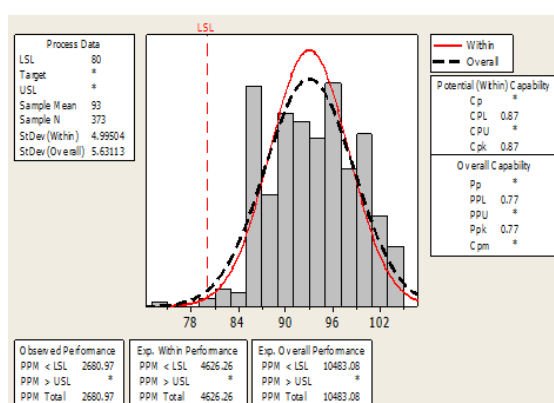
Normal	Weibull	Gamma	Logistic	lognormal	Loglogistic
*پیکروکروسین تربت حیدریه و رشتخوار (زعفران رشته‌ای بریده ممتاز)	*سافرانال تربت حیدریه و زاوه (زعفران رشته‌ای بریده ممتاز)	*سافرانال رشتخوار (زعفران رشته‌ای بریده ممتاز)		*پیکروکروسین زاوه (زعفران رشته‌ای بریده ممتاز و نوع یک)	
Picrocrocin of Torbat Heydarieh and Rashtkhar (excellent cut string saffron)	Safranal of Torbat Heydarieh and Zaveh (excellent cut string saffron)	Safranal of Rashtkhar (excellent cut string saffron)	*کروسین شهر تربت حیدریه (زعفران رشته‌ای بریده ممتاز)	*پیکروکروسین و سافرانال رشتخوار (زعفران رشته‌ای نوع ۱)	*پیکروکروسین کاشمر و بردسکن (زعفران رشته‌ای نوع ۱)
Crocine of Rashtkhar and Zaveh (excellent cut string saffron)	*سافرانال و کروسین زاوه (زعفران رشته‌ای نوع ۱)	*سافرانال کاشمر (زعفران رشته‌ای نوع ۱)	Crocine of Torbat Heydarieh city (excellent cut string saffron)	Picrocrocin and safranal of Rashtkhar (string saffron type 1)	Kashmar picrocrocin and Bardscan (string saffron type 1)
*تمامی مشخصه‌های تربت حیدریه (زعفران رشته‌ای نوع ۱)	Safranal and Crocin of Zaveh (string saffron type 1)	Safranal of Kashmar (string saffron type 1)		*کروسین کاشمر (زعفران رشته‌ای نوع ۱)	
All characteristics of Torbat Heydarieh (string saffron type 1)				Crocine of Kashmar string saffron type 1)	
*کروسین رشتخوار (زعفران رشته‌ای نوع یک)					
Crocine of Rashtkhar (string saffron type 1)					

فرآیند تولید زعفران در شهرهای مورد مطالعه نتایج در جدول ۴ خلاصه و دسته بندی شدند.

به طور مشابه می‌توان تمام شاخص‌های توانایی فرایند را برای مشخصه‌های کیفی زعفران رشته‌ای نوع یک نیز رسم و تجزیه و تحلیل کرد. جهت تسهیل مقایسه کارایی و توانایی

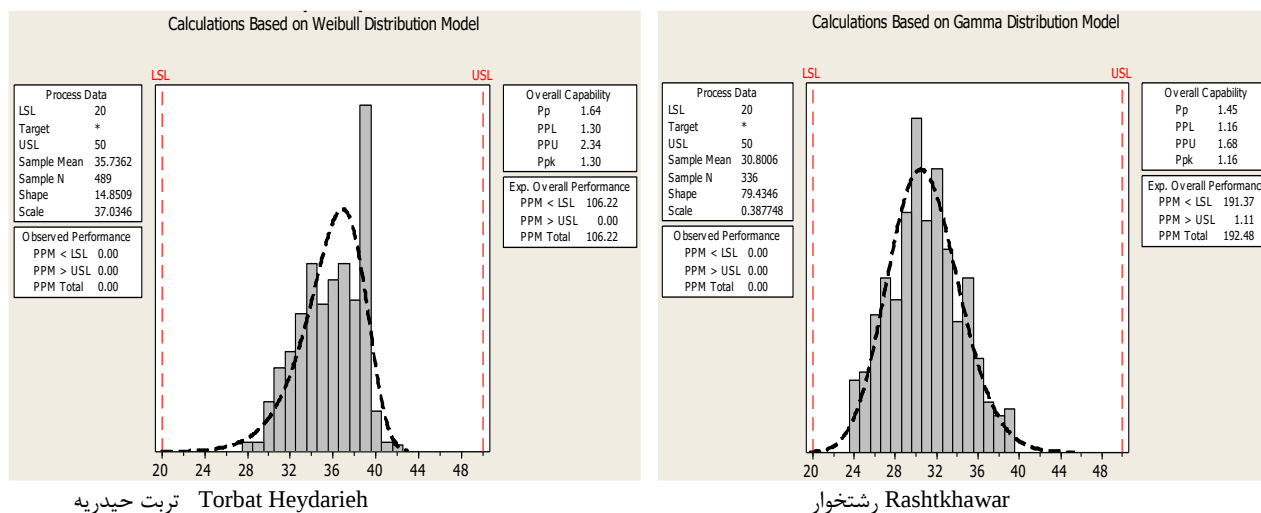


تربت حیدریه Torbat Heydarieh

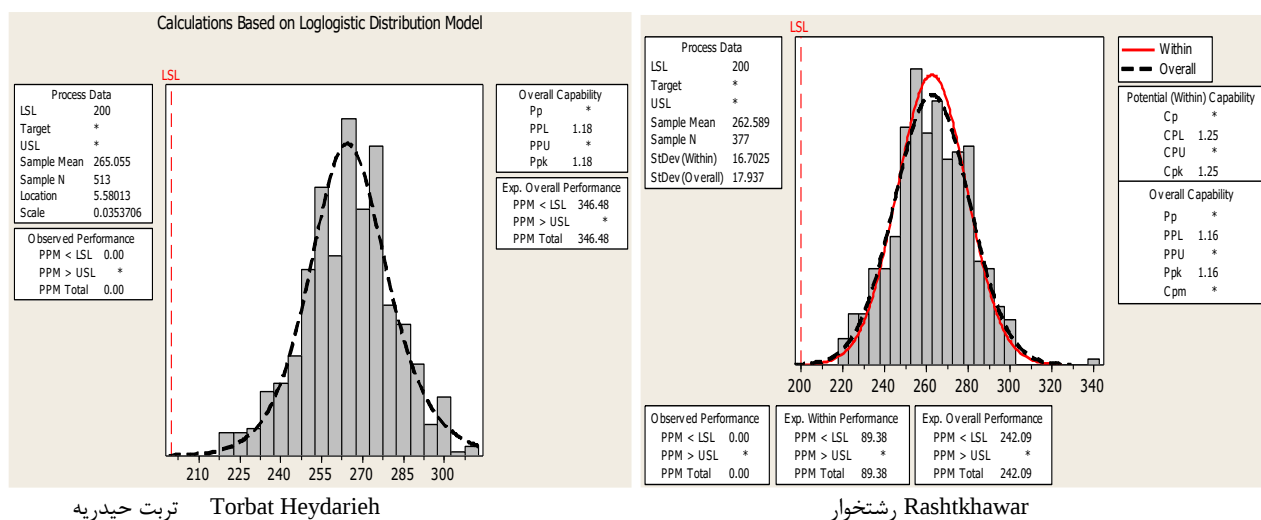


رشتخوار Rashtkhar

شکل ۷- شاخص توانایی فرایند برای پیکروکروسین زعفران رشته‌ای بریده ممتاز
Figure 7- Process capability indices for picrocrocin of excellent cut string saffron.



شکل ۸- شاخص توانایی فرآیند برای سافرانال رشته‌ای بریده ممتاز
Figure 8- Process capability indices for Safranin of excellent cut string saffron.



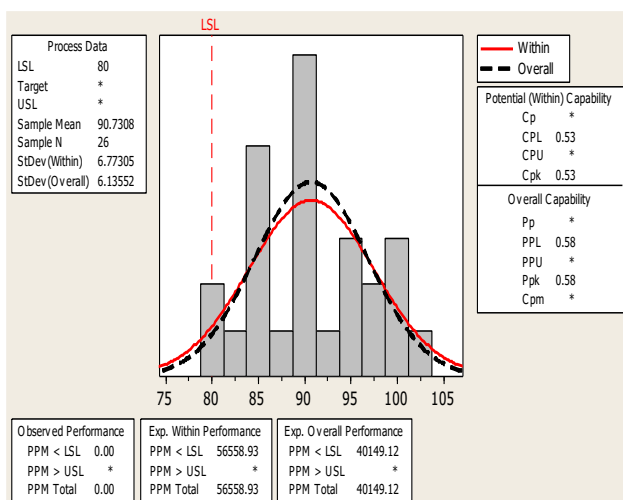
شکل ۹- شاخص توانایی فرآیند برای کروسین زعفران رشته‌ای بریده ممتاز
Figure 9- Process capability indices for Crocin of excellent cut string saffron.

به ترتیب شهرهای تربت حیدریه، رشتخوار، کاشمر، زاوه پیکروکروسین بهتری داشتند. درخصوص سافرانال به ترتیب شهرهای کاشمر، تربت حیدریه، رشتخوار، زاوه و درخصوص کروسین به ترتیب شهرهای رشتخوار، زاوه، کاشمر، تربت حیدریه مشخصه کیفی بهتری داشتند. نتیجه بررسی زعفران رشته‌ای بریده ممتاز نشان داد که زعفران شهر تربت حیدریه دارای بهترین پیکروکروسین، زعفران

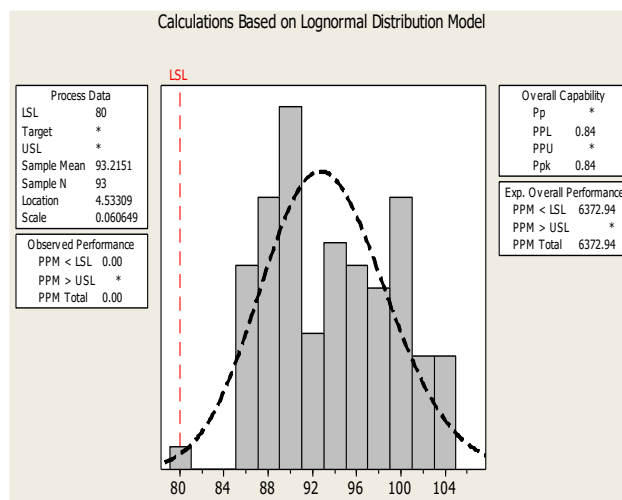
باتوجه به مقادیر بدست آمده از نمودار و جدول ۴، به ترتیب شهرهای تربت حیدریه، زاوه، رشتخوار، بردسکن، کاشمر پیکروکروسین بهتری داشتند. درخصوص سافرانال به ترتیب شهرهای بردسکن، تربت حیدریه، زاوه، کاشمر، رشتخوار و درخصوص کروسین به ترتیب شهرهای تربت حیدریه، زاوه، رشتخوار، بردسکن، کاشمر مشخصه کیفی بهتری را دارا بودند. همچنین، از مقادیر محاسبه شده در جدول ۵ می‌توان فهمید

بردسکن و زاوه بیشتر به بهبود نیاز داشت تا میزان تغییرات و انحرافات فرآیند تولید زعفران را کاهش دهد و کارایی فرآیند افزایش یابد. علاوه بر آن کارایی شهرهای زاوه، کاشمر و رشتخوار در تولید زعفران رشته‌ای نوع یک به مراتب از بقیه شهرها پایین‌تر بود و لازم است بیشتر به فرآیند تولید نظارت داشت.

شهر کاشمر دارای بهترین سافرانال و زعفران شهر رشتخوار دارای بهترین کروسین بود. همچنین با توجه به اطلاعات بدست آمده از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که بهترین پیکروکروسین و کروسین زعفران رشته‌ای نوع ۱ مربوط به شهر تربت حیدریه و بهترین سافرانال آن مربوط به شهر بردسکن بود. بنابراین، با توجه به مقادیر شاخصها در جداول ۴ و ۵، می‌توان متوجه شد برای زعفران رشته‌ای بریده ممتاز شهرهای



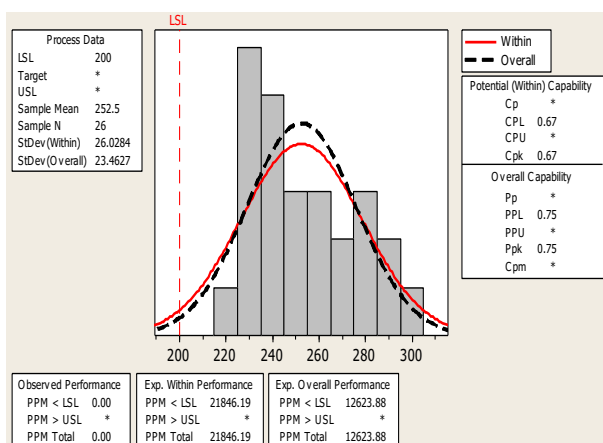
کاشمر Kashmar



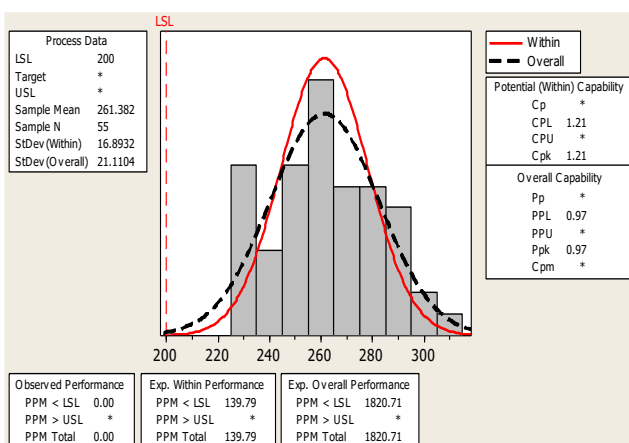
زاوه Zaveh

شکل ۱۰- شاخص توانایی فرآیند برای پیکروکروسین زعفران رشته‌ای بریده ممتاز

Figure 10- Process capability indices for microcrocin of excellent cut string saffron.



کاشمر Kashmar



زاوه Zaveh

شکل ۱۱- شاخص توانایی فرآیند برای کروسین زعفران رشته‌ای بریده ممتاز

Figure 11- Process capability indices for Crocin of excellent cut string saffron.

جدول ۴- مقایسه توانایی فرآیندهای تولیدی برای زعفران رشته‌ای نوع یک

Table 4- Comparing the capability of production processes for stringed saffron type 1

شاخص‌های توانایی	Indices	توانایی داخلی				توانایی کلی			
		Within capability				Overall capability			
		C_p	C_{PL}	C_{PU}	C_{PK}	P_p	P_{PL}	P_{PU}	P_{pk}
تربت حیدریه Torbat Heydarieh	پیکروکروسین Picrocrosin	*	0.7	*	0.67	*	0.61	*	0.61
	سافرانال Safranlal	1.9	1.9	1.9	1.85	1.67	1.65	1.7	1.65
	کروسین Crosin	*	1	*	1	*	0.93	*	0.93
رشتخوار Roshtakhar	پیکروکروسین Picrocrosin	*	*	*	*	*	0.5	*	0.5
	سافرانال Safranlal	*	*	*	*	1.47	1.19	1.7	1.19
	کروسین Crosin	*	0.9	*	0.87	*	0.83	*	0.83
زاوه Zaveh	پیکروکروسین Picrocrosin	*	*	*	*	*	0.68	*	0.68
	سافرانال Safranlal	*	*	*	*	1.77	1.26	2.8	1.26
	کروسین Crosin	*	0.9	*	0.94	*	0.89	*	0.89
کاشمر Kashmar	پیکروکروسین Picrocrosin	*	*	*	*	*	0.29	*	0.29
	سافرانال Safranlal	*	*	*	*	1.73	1.28	2.1	1.28
	کروسین Crosin	*	*	*	*	*	0.79	*	0.79
بردسکن Bardaskan	پیکروکروسین Picrocrosin	*	*	*	*	*	0.31	*	0.31
	سافرانال Safranlal	1.9	1.3	2.56	1.28	1.81	1.21	2.4	1.21
	کروسین Crosin	*	0.9	*	0.86	*	0.81	*	0.81

چراکه بهبود عملکرد مشخصه و شناخت عوامل بحرانی فرآیند، باعث بهبود میانگین فرآیند شده و همچنین تغییرپذیری را حداقل می‌کند و یک پایداری در فرآیند ایجاد می‌کند. این شاخص‌ها اطلاعات مهمی ارائه دادند که آیا فرآیند تولید زعفران در هر منطقه بلحاظ کنترل کیفیت آماری قادر به تولید زعفران باکیفیت در بین حدود مشخصه فنی بود و یا خیر. در حقیقت

نتایج تحلیل آماری نشان دادند که فرآیندهای تولیدی چقدر در برآورده کردن حدود مشخصه فنی استاندارد توانایی داشتند. در خصوص اهمیت تحلیل این شاخص‌ها می‌توان گفت که استفاده از نتایج شاخص‌های کارایی فرآیند تولید زعفران برای انجام پروژه‌های ۶ سیگمای زعفران بسیار ضروری است.

جدول ۵- مقایسه توانایی فرآیندهای تولیدی برای زعفران رشته‌ای بریده ممتاز

Table 5- Comparing the capability of production processes for excellent cut stringed saffron

شاخص‌ها indices		توانایی داخلی Within capability				توانایی کلی Overall capability			
		C_p	C_{PL}	C_{PU}	C_{PK}	P_p	P_{PL}	P_{PU}	P_{pk}
تربت حیدریه Torbat Heydarieh	پیکروکروسین Picrocrosin	*	1.17	*	1.17	*	1.07	*	1.1
	سافراناال Safranlal	*	*	*	*	1.64	1.3	2.3	1.3
	کروسین Crosin	*	*	*	*	*	1.18	*	1.2
رشتخوار Roshthakhar	پیکروکروسین Picrocrosin	*	0.87	*	0.87	*	0.77	*	0.8
	سافراناال Safranlal	*	*	*	*	1.45	1.16	1.7	1.2
	کروسین Crosin	*	1.25	*	1.25	*	1.16	*	1.2
زاوه Zaveh	پیکروکروسین Picrocrosin	*	*	*	*	*	0.84	*	0.8
	سافراناال Safranlal	*	*	*	*	1.3	0.79	2.2	0.8
	کروسین Crosin	*	1.21	*	1.21	*	0.97	*	1
کاشمر Kashmar	پیکروکروسین Picrocrosin	*	0.53	*	0.53	*	0.58	*	0.6
	سافراناال Safranlal	1.26	0.97	1.54	0.97	1.04	0.8	1.3	0.8
	کروسین Crosin	*	0.67	*	0.67	*	0.75	*	0

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پروژه، بررسی کیفیت زعفران (زعفران رشته‌ای نوع یک و بریده ممتاز) شهرهای تربت حیدریه، رشتخوار، زاوه، کاشمر، بردسکن براساس شاخص کیفیت سافراناال، کروسین و پیکروکروسین بود. از اینرو، از دو ابزار مهم در علم کنترل کیفیت آماری تحت عنوان نمودارهای کنترل و شاخص‌های توانایی فرآیند استفاده شد. پس از انجام تحلیل آمار توصیفی به تفصیل پایش فاز یک نمودار کنترل EWMA انجام شده و پس از رسیدن به پایداری در فرآیند تولید زعفران و آزمون و تبدیل داده‌های غیر نرمال، شاخصهای توانایی فرایند

محاسبه و ترسیم شدند. نتایج نشان داد که زعفران شهر تربت حیدریه دارای بهترین پیکروکروسین، زعفران شهر کاشمر دارای بهترین سافراناال و زعفران شهر رشتخوار دارای بهترین کروسین بود. همچنین با توجه به اطلاعات بدست آمده از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که بهترین پیکروکروسین و کروسین زعفران رشته‌ای نوع یک مربوط به شهر تربت حیدریه و بهترین سافراناال آن مربوط به شهر بردسکن بود.

در خصوص محدودیت‌های تحقیق، باید گفت در اغلب موارد بایستی تمامی دستگاه‌ها به درستی و کاملاً کالیبره شده باشند که تحقق این امر در عمل گاهی با مشکل مواجه می‌شود. لذا بایستی قابلیت سیستم اندازه‌گیری مورد استفاده، پیش از تعیین

مشاهدات در تحقیقات دیگر استفاده کرد. انجام پایش فاز دو فرایندها با هدف کشف تغییرات مهم در فرایندها نیز می‌تواند موضوع دیگری برای تحقیقات آتی باشد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده به شماره طرح ۱۴۱۴ از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تربت حیدریه می‌باشد که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از خانم مهندس فرزانه شریف، رابط آزمایشگاه پژوهشکده زعفران بابت در اختیار قرار دادن، مجموعه داده‌های این مقاله، صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

قابلیت تحقق فرآیند تولید، نشان داده شود. به عنوان راه حل دیگری برای این مسئله میتوان اثر خطای اندازه گیری را در فرآیند تولید زعفران نیز در نظر گرفت که به عنوان مطالعات آتی در این تحقیق نیز شمرده می‌شود. همچنین، برای دستیابی به یک توصیف کیفی جامعتر زعفران، شاید بتوان به عنوان یک زمینه پیشنهادی برای تحقیقات آینده از رویکردهای آماری چندمتغیره و چند تحلیلی و تکنیک‌های کروماتوگرافی، طیف‌سنجی، و مبتنی بر بیومیمتیک استفاده کرد. از طرف دیگر، در دنیای واقعی همواره مقادیر مشخصه‌های کیفی اعداد قطعی نیستند. هنگامی که مشاهدات برگرفته از یک فرآیند غیر دقیق است می‌توان از نظریه اعداد فازی یا خاکستری برای بیان

منابع

- Aghhavani Shajari, M., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., & Koocheki, A. (2022). Does nutrient and irrigation managements alter the quality and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Agricultural Water Management*, 267(1), 107629. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107629>.
- Aissa, R., Ibourki, M., Bouzid, H.A., & Bijla, L. (2023). Phytochemistry, quality control and medicinal uses of Saffron (*Crocus sativus* L.): an updated review. *Journal of Medicine and Life*, 16(6), 822-836. <https://doi.org/10.25122/jml-2022-0353>.
- Arowolo, O.T., & Ekum, M.I. (2020). Generalized regression control chart for monitoring crop production. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 9(4), 90-100. <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20200904.12>.
- Bergomi, A., Comite, V., Santagostini, L., Guglielmi, V., & Fermo, P. (2022). Determination of saffron quality through a multi-analytical approach. *Foods*, 11(20), 3227. <https://doi.org/10.3390/foods11203227>.
- Chaouqi, S., Moratalla-López, N., Lage, M., Lorenzo, C., Alonso, G.L., & Guedira, T. (2018). Effect of drying and storage process on Moroccan saffron quality. *Food Bioscience*, 22(1), 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.02.003>.
- Chen, K.S., Pearn, W.L., & Lin, P.C. (2003). Capability measures for process with multiple characteristics. *Quality and Reliability Engineering International*, 19(2), 101-110. <https://doi.org/10.1002/qre.513>.
- Fallahi, H.R., Shajari, M.A., Sahabi, H., Behdani, M.A., Sayyari-Zohan, M.H., & Vatandoost, S. (2021). Influence of some pre and post-harvest practices on quality of saffron stigmata. *Scientia Horticulturae*, 278(1), 109846. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109846>.
- García-Rodríguez, M., Serrano-Díaz, J., Tarantilis, P.A., Lopez-Corcoles, H., Carmona, M., & Alonso, G.L. (2014). Determination of saffron quality by high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(32), 8068-8074. <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2018003>.

- Kiani, S., Minaei, S., & Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2018). Instrumental approaches and innovative systems for saffron quality assessment. *Journal of Food Engineering*, 216(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.022>.
- Lowry, C.A., & Montgomery, D.C. (1995). A review of multivariate control charts. *IIE Transactions*, 27(6), 800-810. <https://doi.org/10.1080/07408179508936797>.
- Maghsoodi, V., Kazemi, A., & Akhondi, E. (2012). Effect of different drying methods on saffron (*Crocus sativus* L.) quality. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 31(2). <https://doi.org/85-89>. 10.30492/IJCCE.2012.5993.
- Min, Z., Alan, W.G., Shuguang, H., & Zhen, H. (2014). Modified multivariate process capability index using principal component analysis. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 27(2), 249-259. <https://doi.org/10.3901/CJME.2014.02.249>.
- Mohammed, Z.M. (2022). Modelling time-series process of an agricultural crop production process by EWMA quality control chart. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 23(1), 76-95. <https://doi.org/10.1504/IJMOR.2022.126046>.
- Moratalla-López, N., Parizad, S., Habibi, M.K., Winter, S., Kalantari, S., Bera, S., Lorenzo C., García-Rodríguez M.V., Dizadji A., Gonzalo L., & Alonso, G.L. (2021). Impact of two different dehydration methods on saffron quality, concerning the prevalence of Saffron latent virus (SaLV) in Iran. *Food Chemistry*, 337(1), 127786. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127786>.
- Nazarian, R., & Sahabi, H. (2018). Effect of planting density on flower quality in two types of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, 5(2), 139-149. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22077/jsr.2017.627.1025>.
- Ordoudi, S.A., & Tsimidou, M.Z. (2004). Saffron quality: Effect of agricultural practices, processing and storage. *Production Practices and Quality Assessment of Food Crops*, 11(1), 209-260. <https://doi.org/10.1007/1-4020-2533-5>.
- Scagliarini, M. (2011). Multivariate process capability using principal component analysis in the presence of measurement errors. *AStA Advances in Statistical Analysis*, 95(2), 113-128. <https://doi.org/10.1007/s10182-011-0156-3>.
- Shahriari, H., & Abdollahzadeh, M. (2009). A new multivariate process capability vector. *Quality Engineering*, 21(3), 290-299. <https://doi.org/10.1080/08982110902873605>.
- Shahriari, H., Hubele, N.F., & Lawrence, F.P. (1995). A multivariate process capability vector. Proceedings of the 4th Industrial Engineering Research Conference, Institute of Industrial Engineers. pp. 304-309.
- Shishebori, D., & Hamadani, A.Z. (2010). Properties of multivariate process capability in the presence of gauge measurement errors and dependency measure of process variables. *Journal of Manufacturing Systems*, 29(1), 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2010.06.005>.
- Voltarelli, M.A., Silva, R.P.D., Zerbato, C., Paixão, C.S., & Tavares, T.D.O. (2015). Monitoring of mechanical sugarcane harvesting through control charts. *Engenharia Agrícola*, 35(1), 1079-1092. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p1079-1092/2015>.
- Zalacain, A., Ordoudi, S.A., Díaz-Plaza, E.M., Carmona, M., Blázquez, I., Tsimidou, M.Z., & Alonso, G.L. (2005). Near-infrared spectroscopy in saffron quality control: determination of chemical composition and geographical origin. *Journal of Agricultural*

